

# Ecología y Medio ambiente



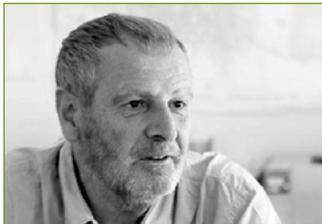


1. Introducción	4
2. La ecología para cambiar las reglas del juego de la planificación	5
3. Un modelo urbano más sostenible en la era de la información	6
4. El urbanismo ecosistémico	8
5. Soluciones Basadas en la Naturaleza (SBN) para los ecosistemas urbanos	9
6. Conclusión	33

# «La ecología urbana y las soluciones basadas en la naturaleza»

Barcelona  
Octubre, 2021





## Salvador Rueda

Presidente de la Fundación Ecología Urbana y Territorial. Fundador y Director de la Agencia de ecología Urbana de Barcelona (2000-2020). Ecólogo urbano, Licenciado en Ciencias biológicas y Psicología por la Universidad de Barcelona, diplomado en Ingeniería ambiental y en Gestión energética, se ha especializado en diferentes aspectos del medio ambiente urbano desde una perspectiva integral. Entre otras cosas, ha sido coordinador de programas de renovación y revitalización de la Ciutat Vella de Barcelona, ha redactado el Plan de Saneamiento de Cataluña y el Programa de Gestión de residuos del Área Metropolitana de Barcelona. También ha sido dirigente del Área de Medio Ambiente Urbano de la Generalitat de Catalunya y fue miembro del Grupo de Expertos de Medio Ambiente Urbano de la Unión Europea entre 1994 y 2000. Creador del Urbanismo Ecosistémico y el concepto de supermanzana. Ha desarrollado proyectos de investigación aplicada en los campos del urbanismo, la movilidad, el espacio público, el metabolismo, la biodiversidad, el desarrollo económico y la cohesión social.

Es autor de los libros: Ecología Urbana: Barcelona y su Región Metropolitana (1995); Barcelona, ciudad mediterránea, compacta y compleja. Una visión de futuro más sostenible (2002); Redactor principal y coordinador del Libro Verde de Medio Ambiente Urbano (2006); Libro Verde de Sostenibilidad Urbana y Local en la Era de la información (2012); El Urbanismo Ecológico: su aplicación en el diseño de un Ecobarrio en Figueras (2012), Ecological Urbanism, apartado: «A Holistic View of the Urban Phenomenon» (2012); Guía Metodológica para los sistemas de auditoría, certificación o acreditaciones de la Calidad y sostenibilidad en el Medio Urbano (2012). Certificado del Urbanismo Ecosistémico Regenerando el Plan Cerdá. De la manzana de Cerdá a la supermanzana del urbanismo ecosistémico (2020).

Ha impartido más de 500 conferencias de temas relacionados con la sostenibilidad, la ciudad y el medio ambiente. Ha participado como docente en más de una cuarentena de instituciones académicas, tanto a nivel nacional como internacional.

## Promoción, Coordinación y Edición



# 1 Introducción

La sociedad industrial se ha desarrollado “creyendo” que nos podíamos independizar de la naturaleza y sus leyes. Se ha desarrollado como si los límites no existieran. El resultado es insostenible. El futuro es incierto. Todo indicaba que el proceso evolutivo de los seres humanos iba dirigido a garantizar el futuro de la especie. La anticipación como componente clave de la inteligencia individual no se ha elevado a nivel colectivo. Nuestra capacidad de anticipación colectiva no ha sido capaz, hasta ahora, de abordar las incertidumbres creadas por las reglas del juego económicas y de poder de la sociedad industrial. Es urgente cambiar las reglas del juego y, en ellas, las personas y las leyes de la naturaleza deben estar en el centro del nuevo tablero de juego.

«Es urgente cambiar las reglas del juego y, en ellas, las personas y las leyes de la naturaleza deben estar en el centro del nuevo tablero de juego»



# La ecología para cambiar las reglas del juego de la planificación

## 2



Estamos inmersos en un cambio de era (en tránsito desde la era industrial a la era digital) y en la necesaria formulación de un nuevo paradigma. En la era industrial se han sobrepasado los límites de determinadas variables esenciales para garantizar el futuro. El impacto profundo en los sistemas de la Tierra, y también en las ciudades y metrópolis, nos obliga a cambiar la lógica interna de producir la ciudad de los sistemas urbanos existentes y también la de los nuevos desarrollos urbanos. La magnitud y el tamaño de los impactos y desequilibrios nos obligan a concebir unas reglas del juego que abracen la totalidad de las variables que están en liza. El único marco conceptual que lo permite es la Ecología.

El objeto de estudio de la Ecología son los ecosistemas (1). Las ciudades son ecosistemas urbanos donde los seres humanos constituyen su componente principal. Los ecosistemas urbanos son los sistemas más complejos creados por la especie humana. Si se pretende abordar su transformación de manera holística, venimos obligados a formular modelos sintéticos que incidan en los componentes principales de los sistemas urbanos.



# 3 Un modelo urbano más sostenible en la era de la información

El conjunto de elementos constitutivos de una ciudad, con sus relaciones y restricciones, dan como resultado un sistema de proporciones. Estas proporciones, que son el resultado de múltiples factores e intereses, pueden ser generadoras de disfunciones de naturaleza diversa. Por ejemplo, si la producción de ciudad se prodiga en la extensión excesiva de suburbio, es bastante probable que se produzca una segregación social por rentas, culturas o etnias. La desigualdad entre territorios se hará realidad. En el suburbio, que suele tener la residencia como función casi exclusiva, el déficit de los servicios básicos y los equipamientos obligará a los residentes a utilizar el coche para acceder a ellos. Si el reparto modal está excesivamente decantado hacia el vehículo privado, la ocupación masiva del espacio público por el coche, la congestión o la calidad del aire, etc., darán como resultado una habitabilidad y una calidad urbana escasas. El consumo de energía y la emisión de gases de efecto invernadero se incrementarán, y la calidad del aire empeorará con el consiguiente impacto sobre la salud humana. El análisis se puede extender a otras variables urbanas. Con este ejemplo, se pone de manifiesto la necesidad de integrar el conjunto de variables para que las proporciones trabajen sinérgicamente en el abordaje de los retos actuales.

Como decíamos, las ciudades son los sistemas más complejos que ha creado la especie humana. La única manera de aproximarse a dicha complejidad y alcanzar el sistema de proporciones equilibrado es a través de modelos intencionales que, buscando abordar los retos e incertidumbres actuales, simplifiquen la realidad y nos permitan canalizar la energía del cambio. La definición de modelos intencionales permite establecer el terreno de juego para aplicar visiones transdisciplinares donde, luego, puedan aplicar sus conocimientos los especialistas sabiendo cuáles son los límites del campo de juego y las reglas a seguir. Hoy, del análisis de los problemas que presentan multitud de sistemas urbanos y del análisis de los que han conseguido minimizarlos, surge un modelo urbano intencional que es compacto en su morfología, complejo (mixto en usos y biodiverso) en su organización, eficiente metabólicamente y cohesionado socialmente.

La compacidad y funcionalidad urbana es el eje que atiende a la morfología y a las soluciones formales: densidad edificatoria, distribución de usos espaciales, el porcentaje de espacio verde o de viario. Determina la proximidad entre usos y funciones urbanas. Es el eje, además, que define la funcionalidad del sistema y el escenario de movilidad y espacio público.

La complejidad urbana atiende a la organización urbana, al grado de mixticidad de usos y funciones implantadas o a implantar en un territorio. La complejidad urbana es el reflejo de las interacciones que se establecen en la ciudad entre



los entes organizados o también llamados personas jurídicas: actividades económicas, asociaciones, equipamientos e instituciones. Se incluyen en este componente del modelo los flujos de información y las personas jurídicas densas en conocimiento, base de las ciudades inteligentes. En este eje se incluye, también, la biodiversidad como expresión de la complejidad biológica que convive con los seres humanos en el ecosistema urbano.

Para el metabolismo urbano se busca la eficiencia de los flujos materiales, agua y energía, constituyentes del soporte de cualquier sistema urbano para mantener su organización y evitar ser contaminado. La gestión de los recursos naturales debe alcanzar la máxima eficiencia en su uso con la mínima perturbación de los ecosistemas de soporte, de acuerdo con el cuarto régimen metabólico (basado en la entropía y menos en la energía). Debido a las características intrínsecas de los ecosistemas urbanos, la propuesta metabólica ha de trascenderlos e insertarlos en su matriz regional más amplia, donde puedan desarrollar sus funciones de generación, regeneración y reproducción. La escala regional con la definición de geometrías variables para cada uno de los componentes metabólicos es clave para el desarrollo de estrategias tendentes a la autosuficiencia con recursos renovables.

La cohesión social trata de la convivencia entre las personas que habitan el espacio urbano y las relaciones que establecen entre sí. Las ciudades no pueden satisfacer su función de motor de progreso social, de crecimiento económico y de espacio de desarrollo de la democracia a menos que se mantenga el equilibrio social, tanto intra como interurbano, que se proteja su diversidad cultural y que se establezca una elevada calidad urbana. En un contexto atento a la vulnerabilidad social, la mezcla de rentas, culturas, edades y profesiones tiene un efecto estabilizador sobre el sistema urbano.

Cuatro ejes íntimamente relacionados, que interactúan sinérgicamente para dar respuestas integradas a realidades urbanas en procesos de rehabilitación y regeneración y, también, para acompañar a los planificadores de nuevos desarrollos urbanos. El modelo incide y se manifiesta en toda su extensión en realidades diversas que van de la escala metropolitana hasta un área de unas 16-20 ha.

De un tiempo a esta parte, han surgido iniciativas que proponen nuevos modelos de ciudad que atienden, de manera especial, determinados objetivos. La ciudad sostenible, la ciudad resiliente, la ciudad inteligente, la ciudad sostenible, la ciudad equitativa, la ciudad saludable... son ejemplos de modelo de ciudad. El modelo descrito más arriba acoge todos y cada de los modelos de ciudad descritos o, dicho de otra manera, para conseguir sus objetivos específicos, la ciudad tendrá que ser compacta en su morfología, compleja en su organización, eficiente metabólicamente y cohesionada socialmente.



# 4

## El urbanismo ecosistémico

### Para la regeneración de los tejidos urbanos existentes y para la planificación de nuevos desarrollos

El urbanismo, como práctica social de creación y transformación de las ciudades, es el instrumento para abordar los retos actuales. Las limitaciones del urbanismo actual, sin embargo, obligan a la formulación de un nuevo urbanismo con bases ecológicas que amplíe el foco y nos permita, de ese modo, aumentar nuestra capacidad de anticipación ante las actuales incertidumbres creadas, sobre todo, por los sistemas urbanos.

Los quince principios del urbanismo ecosistémico llenan de contenido los ejes del modelo urbano intencional. Con quince principios se busca condensar las claves para la regeneración urbana y el diseño de nuevos desarrollos urbanos. La consecución de sus premisas y objetivos permite obtener los equilibrios sistémicos que garanticen el abordaje de los retos actuales, tanto urbanos como globales.

El urbanismo ecosistémico pone a las personas y las leyes de la naturaleza en el centro del tablero de la planificación.



# Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) para los ecosistemas urbanos

# 5

Se han considerado Soluciones Basadas en la Naturaleza (SbN) aquellos procesos y elementos que, siendo propios del funcionamiento y organización de la naturaleza, se han trasladado al funcionamiento y organización urbanas.

Se han identificado determinadas regularidades y principios en los ecosistemas naturales o alguno de sus componentes y se han trasladado a los ecosistemas urbanos atendiendo a las características de estos.

## 5.1. El edificio en los ecosistemas urbanos se asemeja al árbol en los ecosistemas naturales

El edificio en los sistemas urbanos juega un papel similar al árbol en los ecosistemas naturales. Las soluciones que adopta el árbol en materia de flujos metabólicos: energía, agua y materiales le permiten ser autosuficiente y fijar su posición en el bosque. Los árboles son autosuficientes en energía y adoptan diferentes estrategias para captar la energía solar. Utilizan el calor latente del agua para limitar la temperatura en determinados valores, compatibles con las funciones metabólicas. Capta los nutrientes de su entorno inmediato y parte de su "cuerpo" vegetativo lo pierde y lo vuelve a captar debidamente transformado.

Se adapta a las condiciones de su entorno y al clima, la edafología, la posición relativa que ocupa respecto a los otros árboles, etc., y todas ellas son "tenidas en cuenta" por el árbol para su permanencia en el tiempo. Por ejemplo, en un clima muy lluvioso, la madera de los árboles adaptados a ese clima será muy resistente a la humedad y tenderán a expulsar el agua sobrante, y al revés,

si es un árbol adaptado a condiciones de sequedad extrema, será capaz de retener la mínima cantidad de agua.

Los árboles son los inventores del ascensor, y los flujos de materiales y agua son principalmente verticales. De hecho, en los ecosistemas naturales los movimientos masivos son en sentido vertical, no horizontal.

El árbol contiene, en su seno, un número no despreciables de "inquilinos" del mundo microscópico y del reino animal y vegetal acogiendo una parte de la biodiversidad del bosque.

El árbol en el bosque fija con su presencia y disposición espacial preponderante la morfología y la estructura, y establece una relación dinámica con el conjunto de organismos en general y muy especialmente con los vegetales creando unas condiciones de entorno que se regulan con dicha interacción. La temperatura, la humedad, la dicotomía insolación-sombras, los caminos, etc., son variables de entorno que son controladas por la relación entre los organismos en el ecosistema, y aunque el nivel de control es menor que el que ejercen los organismos pluricelulares con la homeostasis, el nivel de regulación que establecen les permite incrementar el número y la diversidad de organismos en el ecosistema, avanzando pasos en su sucesión (evolución de los ecosistemas) y en su madurez.

El edificio en los ecosistemas urbanos juega un papel similar al árbol en los ecosistemas naturales. No obstante, con la revolución industrial, los sistemas de construcción y de funcionamiento de los edificios se fueron alejando de los principios de



construcción y funcionamiento de la arquitectura vernácula adaptada a las condiciones de cada lugar.

Debido al actual escenario de incertidumbres que vienen con la emergencia climática, la extinción de especies, etc., estamos obligados a incrementar nuestra capacidad de anticipación y de adaptación incluyendo a todos los componentes del ecosistema urbano. Emular la organización y el funcionamiento del árbol en los edificios urbanos es esencial. Los edificios tienen que acercarse a la autosuficiencia en energía, agua y materiales. Tienen que estar contruidos con materiales reciclables y con la mínima huella ecológica. Tienen que acoger a una gran diversidad de personas, actividades y organismos vivos compatibles. Los edificios tienen que, además, establecer mecanismos de relación con su entorno más o menos inmediato para regular las variables de entorno.

Haciendo un análisis un poco más detallado de algunas de las variables citadas, nos permitirá entender un poco mejor la aplicación de las soluciones basadas en la naturaleza en la edificación y los beneficios que estas nos aportan.

La fotosíntesis es el sistema que utilizan los sistemas autótrofos para captar la energía solar. Actualmente, los sistemas más empleados para captar energía solar en los edificios son los paneles solares térmicos y fotovoltaicos. Hoy se ubican, principalmente, en las cubiertas edificadas, pero la tecnología permitirá, en un futuro cercano, que puedan recubrir toda la "piel" del edificio. Los vegetales acumulan la energía captada en forma de moléculas químicas. En los edificios, esta función la cubrirán las baterías, los vehículos eléctricos, que podrán actuar de acumuladores dinámicos, y los acumuladores estacionales de energía (grandes tanques aislados de agua caliente en el subsuelo) formarán parte de los sistemas activos de energía para la climatización y demás servicios demandantes de energía. Para la climatización de los edificios, se suele utilizar la energía geotérmica que viene a sumarse a la energía solar. En nuestras latitudes con veranos muy calurosos, la energía geotérmica combinada con bombas de calor "inverter" es una solución idónea para el confort térmico en los edificios.

## Sistema SCACS

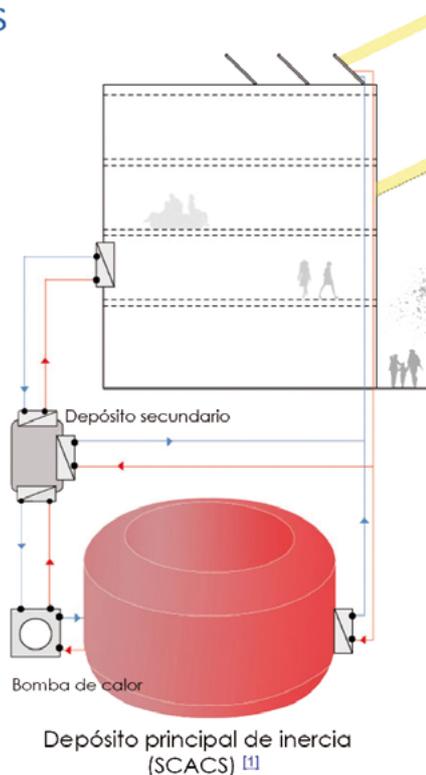


Fig. 1. Sistema de Climatización y Agua Caliente Sanitaria (SCACS) con energía solar.  
Fuente: Moisés Morató y BCNecología.



A los sistemas activos de energía se le añaden los sistemas pasivos, que son esenciales para mantener el confort térmico con soluciones naturales. Los sistemas pasivos más conocidos son la ventilación cruzada, los buenos cerramientos de fachada y el aislamiento de la cubierta con cámaras de aire, láminas de agua, cubiertas verdes o una combinación de todas ellas sabiendo que la mayor parte del calor se desprende por la parte superior del edificio.

Con los sistemas activos y pasivos emulando a la naturaleza, se puede obtener una elevada autosuficiencia energética y elevados niveles de confort y de servicios energéticos. Estos sistemas son adecuados cuando los estilos de vida se alejan de comportamientos despilfarradores que se alejan, a su vez, de la eficiencia propia de la naturaleza.

El agua es otro componente básico para el funcionamiento del árbol y, también, del edificio. El agua y sus características son la clave para el movimiento vertical de nutrientes y de savia elaborada. En los edificios, el agua suele ser bombeada procedente de las redes de suministro de agua potable. Para acercarnos a SbN, el agua de lluvia podrá retenerse en aljibes dispuestos en la cubierta de los edificios o en el subsuelo, y estos estar conectados con el acuífero, pudiendo suministrar agua sin tratar para el riego, la limpieza y los inodoros. Ello supondría el ahorro de un 40% del agua consumido en un edificio residencial.

Construir edificios con los principios usados por la naturaleza en los árboles garantiza su sostenibilidad y garantiza, también, el bienestar y la habitabilidad de los ciudadanos residentes. Por ejemplo, en nuestras latitudes, habitar un edificio bien aislado reducirá significativamente el impacto de las olas de calor en personas vulnerables que vivan en las partes superiores del edificio, a la vez que ofrecerá confort térmico a lo largo de todo el año.

## 5.2. El control de las variables de entorno y la habitabilidad en el espacio público

Los ecosistemas naturales en su sucesión (evolución), tienden a “controlar”, a partir de la relación de sus miembros, las variables de entorno: humedad, temperatura, el binomio insolación/sombras, caminos, etc. esenciales para incrementar y/o mantener su biodiversidad.

En los ecosistemas urbanos, el espacio público es el entorno donde vienen a coincidir las relaciones de los componentes del sistema: la temperatura, la disipación energética (el ruido, el calor), la calidad del aire, el nivel de atracción, la seguridad, etc. Son las variables de entorno del ecosistema urbano. En el suburbio, los niveles de ruido o de contaminación suelen ser bajos. No obstante, no tienen los valores de atracción de la ciudad y son propios de los desiertos urbanos. En la ciudad central, la atracción es suficiente, pero los niveles de ruido y contaminación son excesivos. La calidad urbana en ambos tejidos es mejorable y la habitabilidad, también.

Es habitual comprobar la ausencia de control de las variables de entorno tanto en los tejidos existentes como en los proyectos de planificación para nuevos desarrollos urbanos.

Entendiendo que el espacio público es fundamental para la definición de ciudad, asegurar su habitabilidad también lo es. La propuesta urbanística tendría que incluir:

- a. El confort del espacio público a través del control del ruido, de la calidad del aire y del confort térmico.
- b. La atracción del espacio público a partir de la implantación de los servicios básicos para residentes: la diversidad de personas jurídicas y la presencia de verde urbano.
- c. La ergonomía en el espacio público, destinando la mayor parte del espacio para usos distintos a la movilidad de paso, asegurando la accesibilidad de “todos” y definiendo una relación: ancho de calle/ altura del edificio adecuada.



La falta de control actual de las variables de entorno en el espacio público se debe, sobre todo, por el uso, casi exclusivo, de la movilidad en el espacio público. En Barcelona, el 85% de la superficie de las calles se dedica a la movilidad. En este escenario, la habitabilidad es escasa y el ciudadano

tiene que vivir en espacios ruidosos, contaminados, inseguros, etc. La solución adoptada por distintas ciudades basada en el modelo de supermanzanas les permite liberar el 70% del espacio hoy dedicado a la movilidad sin colapsar la funcionalidad de la ciudad.



Fig. 2. Espacio viario dedicado a la movilidad, en la actualidad. Fuente: Rueda, S. y BCNecología.



Fig. 3. En un escenario con supermanzanas en Barcelona. Fuente: Rueda, S. y BCNecología.

En este escenario, el peatón (es un modo de transporte) se convierte en ciudadano que, en el espacio público, además del derecho al desplazamiento, puede desarrollar el derecho al entretenimiento, el derecho a la cultura y el arte en la calle, el derecho al mercado y al intercambio, y el derecho a la manifestación y a la expresión democrática. Con la implantación de las supermanzanas, el ciudadano multiplica la interacción social y se crean vínculos de convivencia que se alejan del individualismo imperante. Además, parte del espacio liberado se puede destinar a la renaturalización de la ciudad creando una red verde extensa y conectada que ofrece unos servicios ecosistémicos, únicos para incrementar la habitabilidad, la convivencia y el contacto con la naturaleza.

La implantación de una alfombra verde permeable en superficie y en altura (en las cubiertas de los edificios) permitirá la reducción de las temperaturas urbanas entre 2°C y 3°C. Una reducción esencial para disminuir el efecto de

la isla de calor que se incrementa con las olas de calor del cambio climático. En Barcelona, la media anual de noches tropicales ( $T > 20^{\circ}\text{C}$  toda la noche) es de 96 días y el de noches tórridas ( $T > 25^{\circ}\text{C}$  toda la noche) fue de veintiún días en el año 2020.

Sustituir coches por árboles de sombra es clave para la adaptación de nuestras ciudades al cambio climático por la subida de las temperaturas y es clave, también, para el cuidado de nuestros conciudadanos, especialmente para el cuidado de los más vulnerables.

El control de las variables de entorno implantando las supermanzanas se hace efectivo. La calidad del aire, el ruido, la temperatura, la intrusión visual, la congestión, los accidentes, etc., se transforman a mejor y, con ello, mejora la calidad urbana y la calidad de vida de los ciudadanos.

Veamos, a continuación, con mayor detalle, los cambios profundos que las supermanzanas provocan en el espacio público y en las variables de entorno de Barcelona.



### 5. 2.1 Espacio público: de peatón a ciudadano

Un tejido urbano pasa a ser ciudad cuando hay espacio público y, al mismo tiempo, se reúnen en un espacio limitado un determinado número de personas jurídicas complementarias "trabajando" sinérgicamente. Si analizamos una urbanización de casas unifamiliares o adosadas y un espacio entre ellas para que llegue el coche al garaje, nos encontraremos un espacio vacío, sin actividades, sin "vida". En este caso, es mejor hablar de espacio urbanizado, pero difícilmente podemos hablar de espacio público. En una urbanización, no tiene mucho sentido que haya un mercado, un acto cultural o, incluso, ver niños jugando al balón en plena calle... La ciudad empieza a serlo cuando hay espacio público, ya que es la "casa de todos", el lugar de encuentro para el ejercicio de los derechos al intercambio, el entretenimiento y la estancia, la cultura, la expresión y la democracia y, también, el desplazamiento. El espacio público nos hace ciudadanos, y lo somos cuando tenemos la posibilidad de ocuparlo para el ejercicio de todos los derechos enunciados. Hoy en Barcelona, con el 85% del espacio público dedicado a la movilidad

de paso, es imposible el ejercicio de los derechos ciudadanos, ya que el uso casi exclusivo del espacio es para el desplazamiento. En este escenario, la máxima aspiración es ser peatón, pero un peatón es un modo de transporte. La aspiración del urbanismo ecosistémico y las supermanzanas es convertir a los peatones en ciudadanos para que el espacio público no solo sirva para desplazarse (a pie en el mejor de los casos), sino también para el ejercicio de todos los derechos que la ciudad nos ofrece.

El espacio ciudadano con prioridad para los peatones es, hoy, del 15,8% del total. La compresión en el resto del espacio es excesiva. En el escenario de supermanzanas, el porcentaje se eleva hasta el 67,2%, un 270% más, lo que supondría la liberación de 6.200.000 m<sup>2</sup> para el ejercicio de todos los derechos ciudadanos, además del derecho al desplazamiento, fundamentalmente a pie. Las supermanzanas apuestan por devolver a los ciudadanos su carta de naturaleza en casi el 70% del espacio de la ciudad. La implementación de todas las supermanzanas en Barcelona daría lugar al proyecto de reciclaje urbano más importante del mundo, sin derribar ni un edificio.

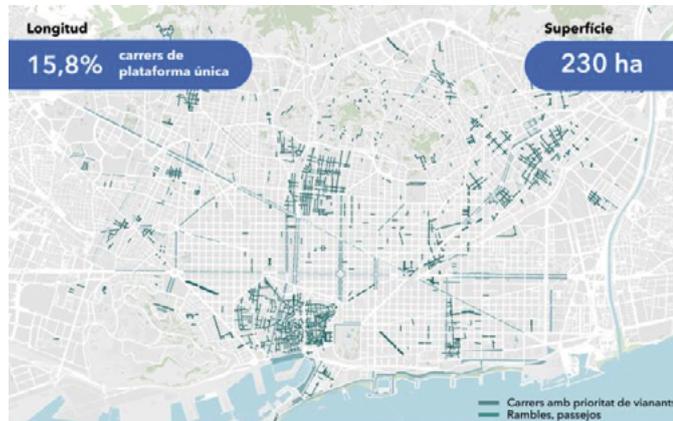


Fig. 4. Espacio con prioridad para el peatón. Situación actual. Fuente: BCNecología.

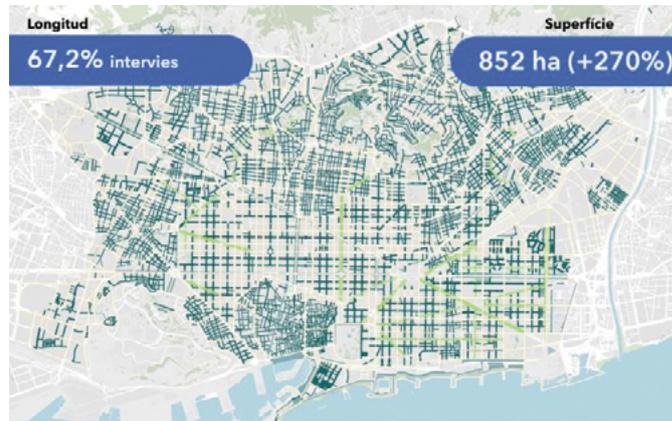


Fig. 5. Espacio con prioridad para el peatón. Escenario Supermanzanas. Fuente: BCNecología.

Como decíamos, la imposibilidad de ejercer todos los derechos ciudadanos nos relega a la condición de peatones. Devolver al ciudadano el espacio público que ha perdido por causa de la actual manera de ocupar el espacio urbano es la clave del nuevo modelo de movilidad y espacio público basado en supermanzanas, aprobado por el Ayuntamiento de Barcelona en marzo de 2015.

Los vehículos eléctricos podrán reducir una parte del ruido (el ruido a partir de determinadas velocidades se debe al rozamiento de los neumáticos con la superficie de rodadura y no al motor), y una parte de la contaminación atmosférica (casi la mitad de la contaminación por partículas se debe al "polvo" levantado por las ruedas, procedente de las



partículas de los neumáticos, los frenos, los aceites lubricantes de los rodamientos, etc. que, como es sabido, contienen metales pesados y componentes de elevada toxicidad). Lo que no podrán reducir es el espacio que ocupan, siendo el espacio, en la ciudad compacta en general y en Barcelona en particular, el bien más escaso.

Los espacios que no están cruzados por ninguna red de movilidad motorizada: coches, autobuses, es decir, el interior de las supermanzanas, son candidatos a ser utilizados para el ejercicio de todos los derechos ciudadanos.

En el interior de las supermanzanas, la garantía del ejercicio de los mencionados derechos se consigue, con velocidades compatibles (10 km/h), con el uso del espacio para las personas más vulnerables (por ejemplo, el paso de personas invidentes, niños jugando) y evitando el paso de los coches a través. Si la supermanzana es atravesada por la red de bus, la red de coches o la red de bicicletas con carril señalizado, deja de serlo porque no es compatible con el ejercicio de TODOS los derechos.

En la ciudad se destinan espacios para mantenerla organizada y en funcionamiento. La organización y la funcionalidad antrópica están relacionadas con la edificación y el viario. Ambos ofrecen los usos y las funciones para generar y reproducir la tensión necesaria para mantener organizado el sistema urbano. El resultado es que, para obtener una ciudad competitiva, hay que tener una cierta

“compresión”. Para mantener la ciudad en tensión, se requiere tener una cierta compacidad que, cuando es excesiva, genera una presión de las mismas dimensiones. Para el equilibrio urbano, se ha comprobado que las ciudades con espacios públicos “suficientes”, destinados a la relajación, al contacto con la naturaleza... proporcionan una mayor calidad urbana y de vida.

Para obtener una vida urbana “equilibrada”, se ha de corregir la compacidad excesiva liberando espacio, hoy dedicado a la movilidad o la edificación. Liberar espacio de la movilidad es más fácil que liberarlo de la edificación, por razones obvias. En el otro extremo nos encontramos con tejidos excesivamente laxos, coincidiendo normalmente con el suburbio, sin ninguna tensión. La corrección viene de la mano de una mayor densidad que incrementa la población y el número de personas jurídicas. El equilibrio urbano se obtiene cuando se combina la tensión “necesaria” y la descompresión “adecuada”.

El urbanismo ecosistémico busca un equilibrio urbano entre los espacios dedicados a la funcionalidad y la organización urbana, y los espacios orientados al ciudadano, a la tranquilidad y al contacto con el verde (espacios de estancia). Este equilibrio se plasma con el cociente entre el volumen construido y el espacio de estancia: la compacidad corregida.

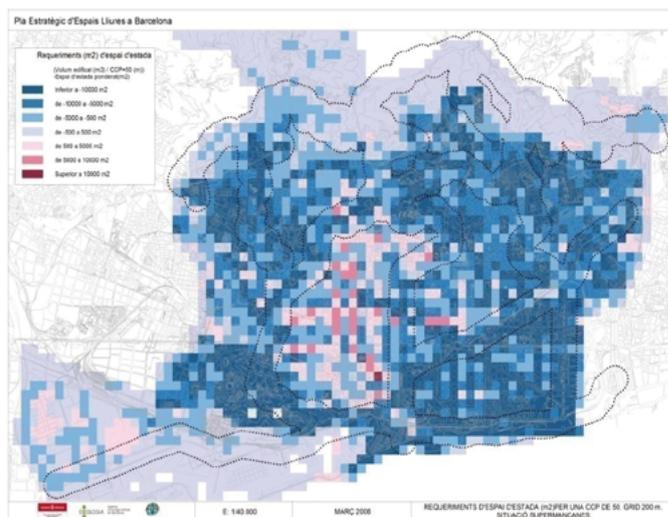
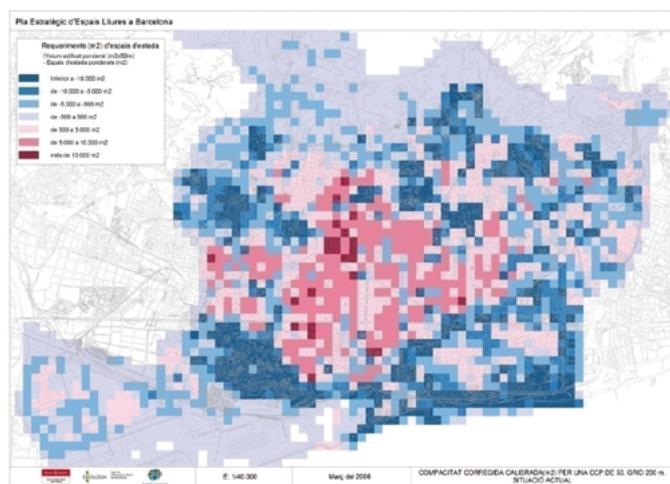
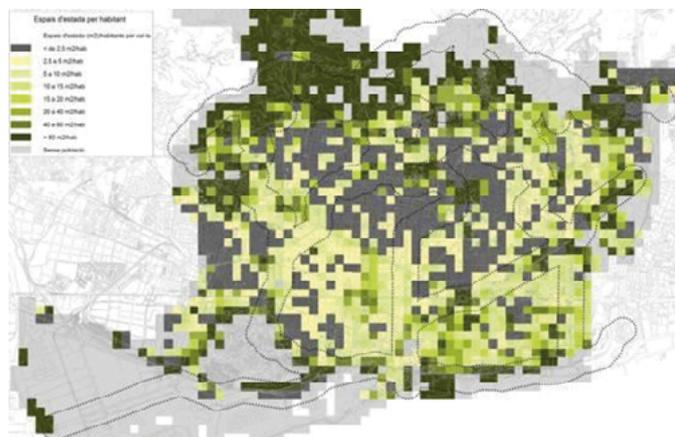


Fig. 6. Compacidad corregida en la situación actual y con supermanzanas. Fuente: BCNecologia.

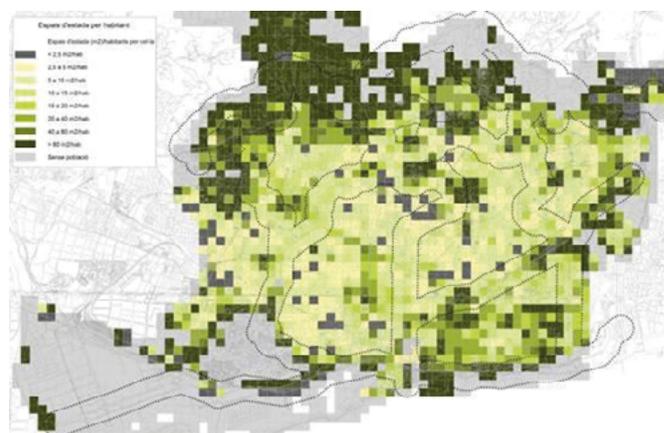


Garantizar una reserva mínima de espacios de estancia por habitante afecta de manera directa a la calidad de vida de los ciudadanos. Los paseos, las ramblas, los parques, las plazas y con las supermanzanas, también las calles, juegan, y jugarán aún más, un papel fundamental tanto en el medio ambiente y la biodiversidad de la ciudad como

por su funcionalidad como espacios de relación, de recreo o relajación. Estos espacios forman parte de la morfología de la ciudad, de su estructura, y actúan como espacios descompresores del volumen edificado. Una dotación equilibrada de espacios de estancia contribuye al bienestar físico, emocional y de relación de los ciudadanos.



4,5m<sup>2</sup>/habitante



22m<sup>2</sup>/habitante

Fig. 7. Espacios de estancia (2). por habitante en el escenario actual y en un escenario de supermanzanas. Fuente: BCNecología.

### 5.2.2. la habitabilidad del espacio público

La habitabilidad del espacio público es uno de los índices del urbanismo ecosistémico que incorpora, para su cálculo y para cada tramo de calle, nueve variables. Tres de ellas inciden en la fisiología y el confort ruido –contaminación atmosférica y confort térmico–, otras tres en la percepción y en la atracción psicológica –diversidad de actividades, actividades básicas de proximidad para los residentes y volumen de verde urbano–, y las tres restantes son de carácter físico o ergonómico – accesibilidad, espacio dedicado al tráfico y a otros usos, y la relación de la altura edificatoria y la anchura de la calle–.

Con el cálculo de las nueve variables para cada tramo de calle, se busca saber el grado de calidad urbana que tienen para desarrollar la totalidad de los usos y derechos ciudadanos.

Más abajo se calculan los índices de habitabilidad en la situación actual y en un escenario de supermanzanas para el tejido de Eixample (Ensanche) en Barcelona. Con el cálculo, se puede deducir el nivel de calidad urbana del espacio público del Eixample Cerdà, y cómo mejoran los escenarios cuando se implantan las supermanzanas.



**Índex d'habitabilitat a l'espai públic**  
IHEP acceptable (>65): 83,8 % trama urbana



**Índex d'habitabilitat a l'espai públic**  
IHEP acceptable (>65): 32,7 % trama urbana

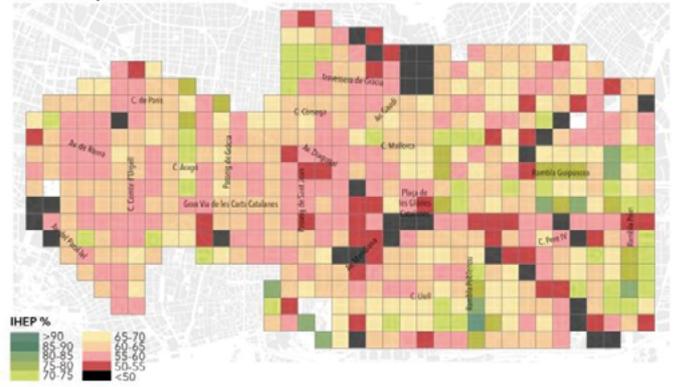


Fig. 8. Índice de habitabilidad en el espacio público de la situación actual y en el escenario de supermanzanas. Fuente: BCNecología.

Los mapas adjuntos muestran claramente la focalización de las máximas concentraciones de contaminantes en el Eixample. Aunque la construcción de las rondas derivó una parte del

tráfico, la red de calles del Eixample central sigue siendo el área que resuelve el tráfico entre mar y montaña.

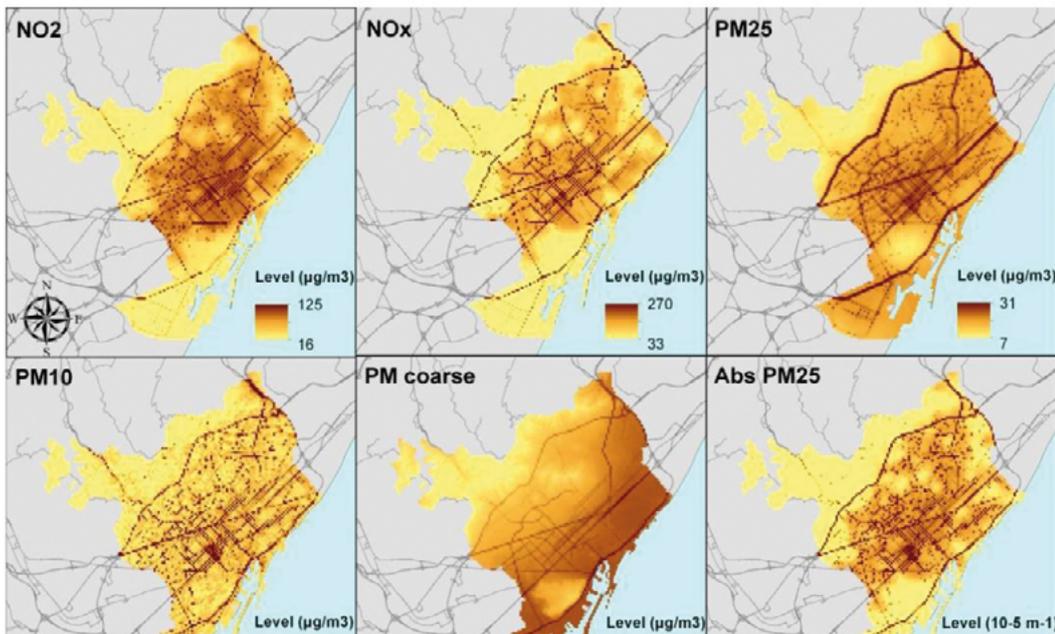


Fig. 9. Concentración de contaminantes en Barcelona. Fuente: ISGlobal.

Las emisiones de contaminantes son fiel reflejo de la araña de tráfico de Barcelona.

En Barcelona, se considera que el 56% de la población tiene unos valores aceptables de contaminación por NO2. El mapa adjunto expone

los valores alcanzados en cada uno de los tramos de calle de la ciudad. Los valores más elevados se concentran en el Eixample, que, entre Paseo de Sant Joan y Urgell, acoge alrededor del 60% del tráfico de coches entre mar y montaña



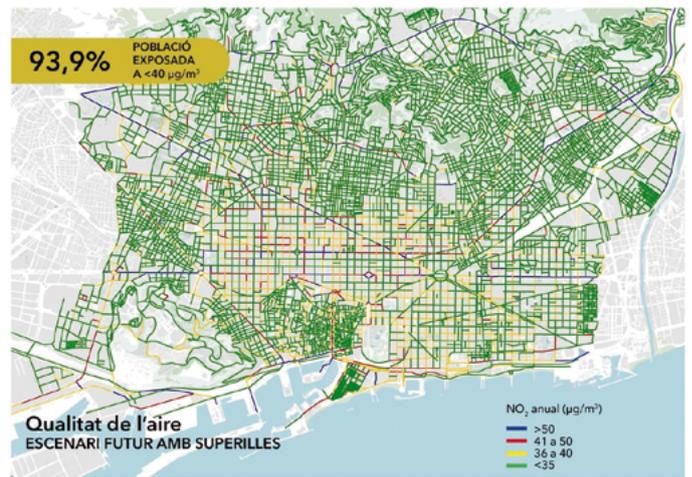
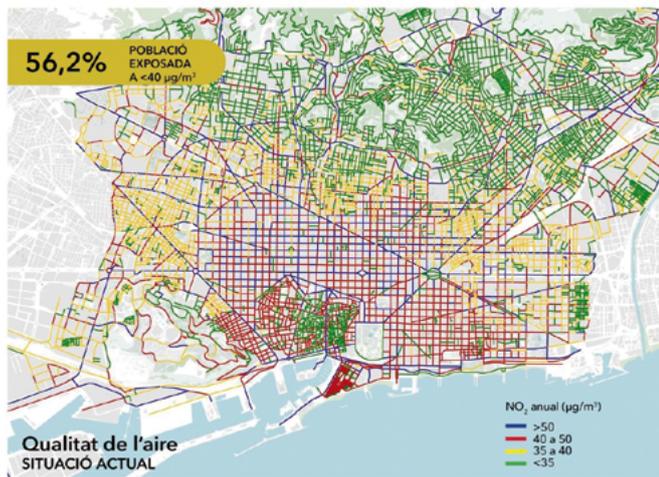


Fig. 10. Contaminación actual de NO<sub>2</sub> en Barcelona y para un escenario simulado de supermanzanas.  
Fuente: BCNecología.

Las medidas para resolver el problema con las actuales tecnologías de automoción están incluidas en el Plan de Movilidad Urbana de Barcelona, basado en una red de supermanzanas que se extiende a toda la ciudad. La nueva célula urbana integra la totalidad de las redes de transporte y la nueva red verde. Con el despliegue de las medidas del Plan de Movilidad Urbana Sostenible (PMUS) y la implantación de las supermanzanas en Barcelona, se considera que la población con valores aceptables de NO<sub>2</sub> se elevaría hasta el 94%.

El análisis del ruido diurno de la situación actual nos dice que un 46% de fachadas están expuestas a ruidos superiores a 65 dBA. Con este nivel de ruido no se puede mantener una conversación sin gritar. Esto significa que el confort acústico de estos edificios se encuentra comprometido y, en verano, el impacto por ruido recomienda tener las ventanas cerradas. Las calles ruidosas durante el día lo suelen ser, también, por la noche. El aislamiento de los cerramientos de fachada es, de media, de unos 24 dBA. Esto quiere decir que los dormitorios que den a la calle ruidosa deberán, también, cerrar balcones y ventanas. Una persona normal duerme sin problemas cuando el nivel de

ruido equivalente es inferior a 35 dBA. Son pocas las calles del Eixample con valores nocturnos por debajo de los 35 dBA. En calles que superen los 60 dBA, los ciudadanos en los dormitorios que den a estas calles tendrán problemas para dormir, incluso con las ventanas y los balcones cerrados.

Además de la molestia que supone el ruido ambiente, es causa, también, de problemas fisiológicos y de comportamiento. Problemas de concentración, fatiga o irritación son característicos de elevados niveles acústicos. Incrementos puntuales del nivel de ruido activan sistemas fisiológicos autónomos, causan respuestas temporales, aumentan la presión sanguínea, el ritmo cardíaco y la vasoconstricción. La contaminación acústica afecta seriamente la salud pública y degrada la habitabilidad del espacio público.

Los últimos análisis epidemiológicos revelan que el impacto del ruido en Barcelona está en línea con los flujos de circulación motorizada, y que la morbilidad y la mortalidad prematura por esta causa se debe tener en cuenta como uno de los problemas graves de salud pública de la ciudad.



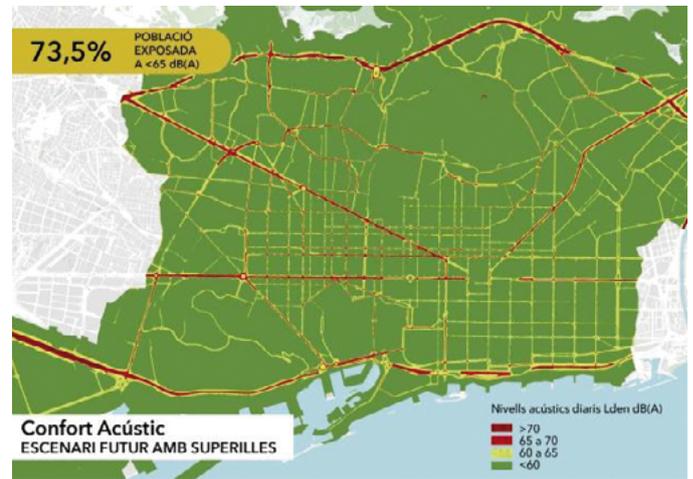


Fig. 12. Mapas de ruido diurno (Lden) en Barcelona, producido por el tráfico motorizado, en la situación actual y en un escenario de supermanzanas. Fuente: BCNecologia.

### 5.2.3 El fenómeno de la isla de calor y la adaptación al cambio climático

En Barcelona, la gráfica de temperaturas muestra un incremento paulatino, pero siempre con una pendiente positiva. La combinación del calor generado por la ciudad y el propio fenómeno del

cambio climático da como resultado el siguiente gráfico de temperaturas registradas en el Observatorio Fabra de Barcelona.

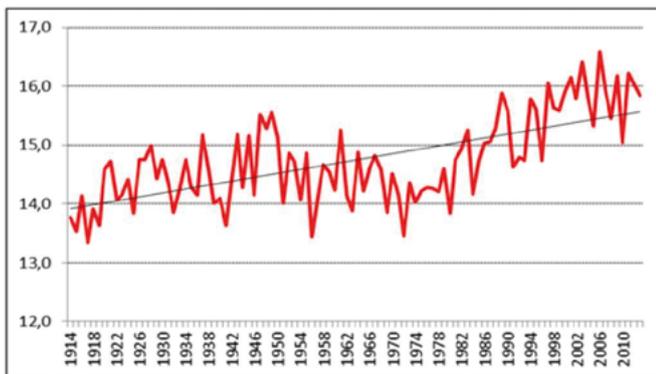


Fig. 15. Evolución de la temperatura media anual en el Observatorio Fabra (1914-2013).

En las ciudades en general y en Barcelona en particular se produce un fenómeno de incremento de temperatura en el centro en relación con la temperatura de la periferia, provocando que el número de noches denominadas tropicales (por

encima de 20°C toda la noche), y noches tórridas (por encima de 25°C toda la noche) vaya aumentando año tras año. Es el llamado fenómeno de la isla de calor. Normalmente presenta una distribución de la temperatura en forma concéntrica.



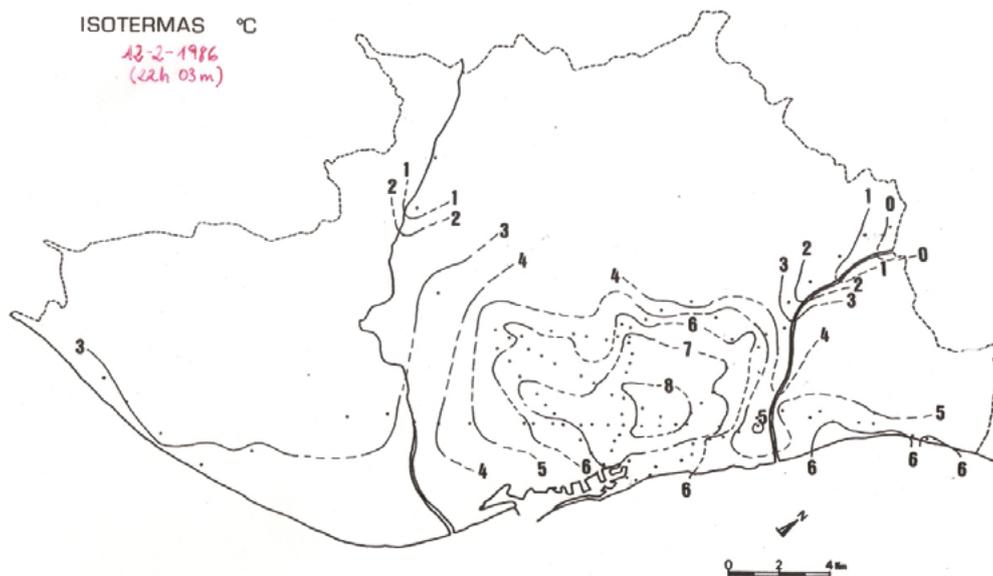


Fig. 16. Isotermas en el AMB. Isla de calor en el centro de Barcelona. Fuente: Moreno 1992.

Siguiendo a J. Martín Vide, las causas que provocan este aumento de la temperatura están relacionadas con las características de la ciudad y su posición geográfica (Martín Vide, J., 2013):

- 1) Mayor almacenamiento de calor durante el día por la alta capacidad calorífica de los materiales de construcción.
- 2) Producción de calor antropogénico.
- 3) Disminución de la evaporación por la pavimentación y la eficacia de los sistemas de drenaje.

4) Menor pérdida de calor sensible para la reducción de la velocidad del viento.

5) Aumento de la absorción de radiación solar por su "captura" debido a la geometría urbana.

6) Disminución de la irradiación nocturna para un bajo SVF (apertura de vista en el cielo).

7) Reemisión hacia la superficie de radiación de onda larga para la atmósfera contaminada (efecto invernadero).

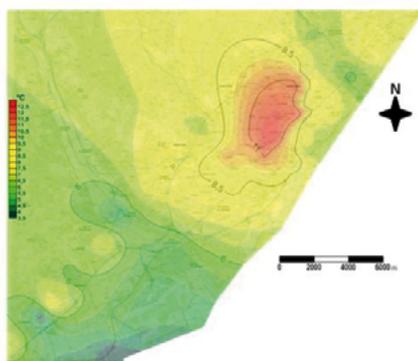


Fig. 17. Configuración de la isla de calor en Barcelona y su área metropolitana (17/01/2015).

Fuente: J. Martín Vide, 2017.

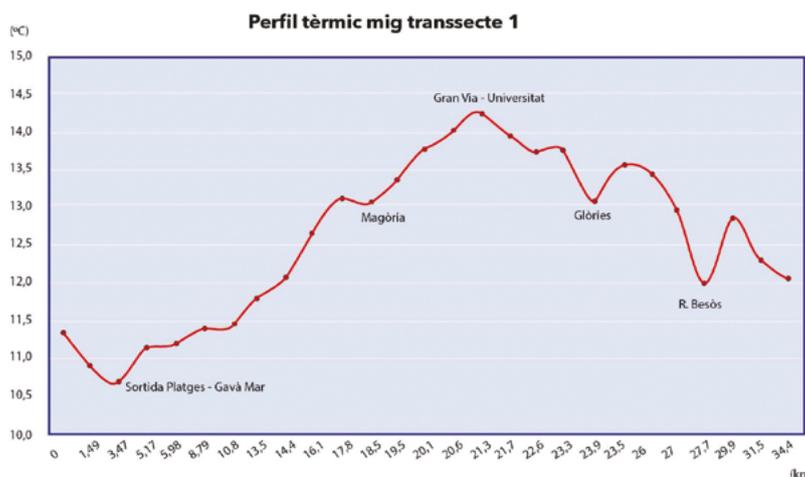


Fig. 18. Perfil térmico del transecto 1. METROBS.

Fuente: J. Martín Vide, 2017.



En las figuras, el área que muestra los máximos valores térmicos coincide con el área central del Eixample, tocando a Ciutat Vella. La máxima temperatura del transecto 1 (Baix Llobregat-Besós) coincide con la Plaza Universitat de Barcelona.

La “isla de calor” es un fenómeno fundamentalmente nocturno, las condiciones meteorológicas más favorables son viento en calma o débil y cielo despejado o poco nuboso, y es más intensa cuanto mayor es el tamaño poblacional del sistema urbano.

La isla de calor en el centro de Barcelona tiene consecuencias en la calidad de vida de los ciudadanos que lo habitan. Implica una disminución del confort térmico en las noches de verano, especialmente cuando la humedad es elevada. En el centro de Barcelona (El Raval) se ha registrado un número medio de días por encima de los 20°C de 93,5 y de veintiún días (en 2020) con temperaturas nocturnas de > 25°C.



Fig. 19. Efecto refrescante del Turó Parc (Barcelona), 10-3-2015, 19:35 (UTC). Fuente: J. Martín Vide, 2017.

Las superficies verdes y permeables son las que más inciden en la adaptación al cambio climático y, por supuesto, en la reducción de la temperatura de la isla de calor.

Si se quiere reducir la temperatura de la ciudad, la actuación más efectiva es implantar una “alfombra” verde que ocupe la mayor parte de la superficie

Estas condiciones se agravan en episodios de olas de calor producidas por el fenómeno del cambio climático, generando un estrés térmico que tiene consecuencias graves en personas vulnerables: niños, ancianos y enfermos.

Para combatir sus efectos, se hace uso de sistemas de climatización (los que tienen), incrementando el consumo de energía en verano (en invierno hay un cierto ahorro por la misma causa).

Con el aumento de temperatura se está produciendo una modificación del calendario fenológico y una colonización de especies exóticas propias del trópico.

La temperatura en áreas con superficies verdes permeables de una cierta dimensión se reduce significativamente, y así queda patente en los análisis experimentales.

urbana, ya sea a cota cero o en la cubierta de los edificios. El modelo de supermanzanas que libera el 70% del viario permite sustituir coches por vegetación. En el distrito de Sant Martí, la implantación de las supermanzanas podría significar un incremento potencial de la superficie verde a cota cero relevante, tal como queda reflejado en las siguientes figuras.



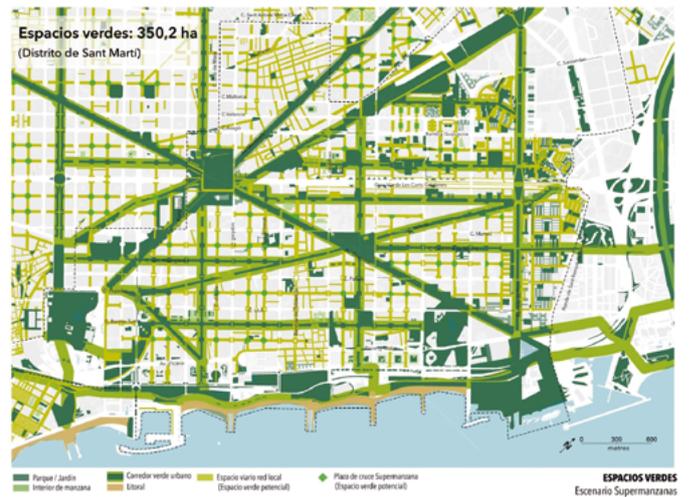
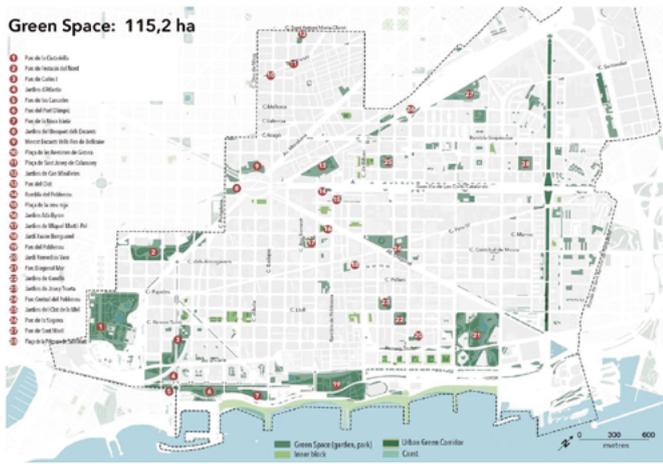


Fig. 20. Espacio verde en el distrito de Sant Martí en la situación actual, y en un escenario de verde potencial con supermanzanas.

Los planificadores alemanes consideran que la permeabilidad del suelo es el mejor indicador, el más sintético, para reflejar la potencialidad de naturalización de un tejido urbano. El urbanismo ecosistémico contempla el Índice Biótico del Suelo (IBS) como uno de los indicadores de base para evaluar el potencial de biodiversidad que tiene una determinada área.

La presencia de suelos permeables reequilibra el ciclo del agua: favorece la infiltración de las aguas pluviales y retiene el agua de lluvia a través de las diferentes superficies vegetales. La vegetación protege el suelo de la excesiva insolación y lo protege de la compactación que provoca el impacto

directo de las gotas de lluvia sobre el suelo. Al permitir que el agua permanezca más tiempo en superficie, se incrementa la posibilidad de que esta se infiltre hacia las capas freáticas y se reduce el riesgo de inundaciones.

Las superficies con cubierta vegetal ayudan a mitigar las emisiones de CO2 y fijar este gas mediante el proceso fotosintético. Las superficies vegetadas son, además, captadores potenciales de partículas contaminantes y ayudan a propiciar el confort térmico, amortiguando el efecto de isla de calor al reducir 2 o 3 grados la temperatura ambiente. En las figuras 21 y 22 se incluye el cálculo del IBS para el tejido de Ensanche en la situación actual y en un escenario de supermanzanas.

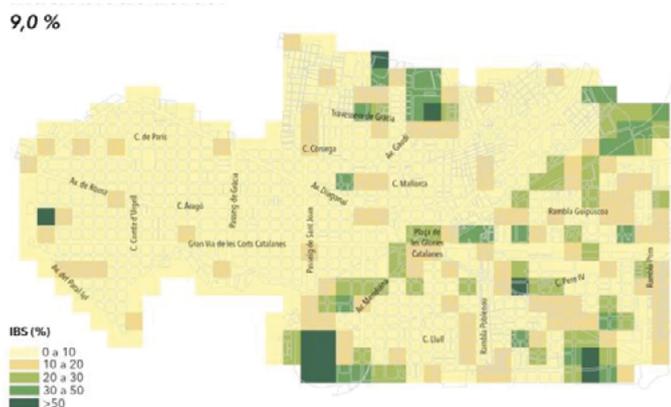


Fig. 21. Índice Biótico del Suelo de la situación actual.



Fig. 22. Índice Biótico del Suelo con supermanzanas. Fuente: BCNecología.



Como síntesis, se ha realizado, para el tejido de Eixample, una estimación del calor emitido por los materiales en la situación actual y en el escenario de supermanzanas, teniendo en cuenta las superficies asfaltadas, permeables y arboladas, la superficie de cubiertas edificadas, etc. Los resultados nos

indican que el calor emitido en el escenario del Eixample actual es de 33,9°C. La implantación de supermanzanas en el Ensanche implicaría una emisión de aproximadamente 28,8°C (más del 17% de reducción del calor emitido hoy).

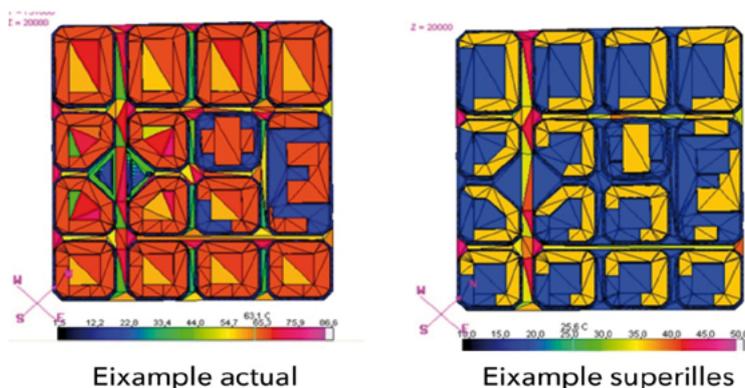


Fig. 23. Simulación de las temperaturas superficiales un día de verano. Fuente: BCNecología.

#### 5.2.4. Los efectos que tendría sobre la salud la implantación de las supermanzanas en Barcelona

El proyecto de supermanzanas aprobado por el Ayuntamiento de Barcelona podría prevenir 667 muertes prematuras cada año, aumentar la esperanza de vida en casi 200 días de media por habitante y generar un ahorro económico anual de 1.700 millones de euros (implantar las

500 supermanzanas con urbanización táctica se podría realizar con una inversión cercana a los 300 millones de euros). Los beneficios para la salud más destacables provendrían de la reducción de la contaminación atmosférica (prevención de 291 muertes prematuras al año), de la mitigación del ruido del tráfico (163 muertes prematuras) y de los efectos del islas de calor (117 muertes prematuras).

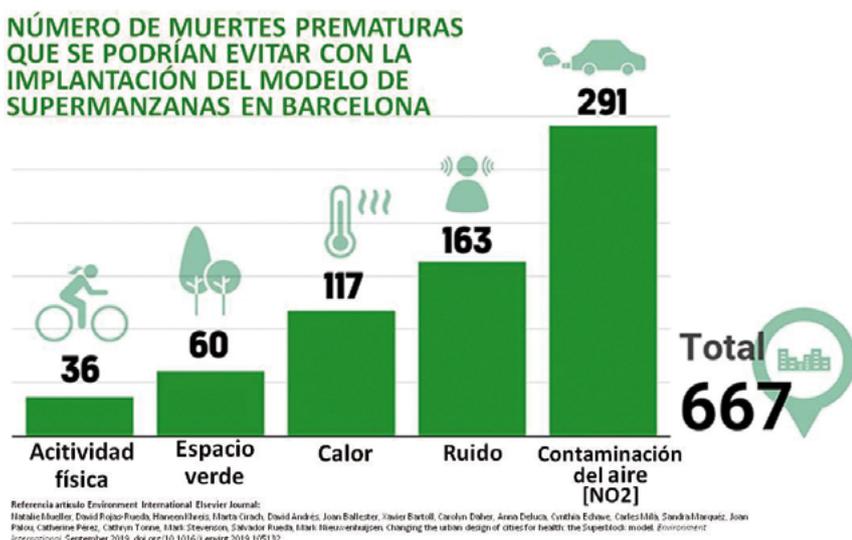


Fig. 24. Número de muertes prematuras que se podrían evitar con la implantación del modelo de supermanzanas en Barcelona. Fuente: Mueller, N., Rueda, S. et al. (2019).



En un estudio realizado por ISGlobal en un territorio de 56 municipios del área metropolitana de Barcelona, que incluye el municipio de Barcelona, se calcula que la polución del aire provoca 1.800 hospitalizaciones por causas cardiovasculares, 5.100 casos de síntomas de bronquitis crónica en adultos, 31.100 casos de bronquitis infantiles y 54.000 ataques de asma entre niños y adultos (Künzli y Pérez, 2007).

La dimensión del impacto permite afirmar que los efectos sobre la salud de la contaminación atmosférica son hoy el principal problema a resolver de todos los causados por el actual modelo de movilidad.

En Barcelona, se estima que se podrían evitar 18.700 ataques de asma, 12.100 casos menos de bronquitis aguda y 600 hospitalizaciones cardiovasculares menos.

Hay que añadir los accidentes de tráfico, que representan unas treinta muertes al año en Barcelona y más de treinta lesionados por km y año en el Eixample.

### 5.3. Supermanzanas y biodiversidad urbana

Las supermanzanas son, también, las células urbanas que permiten integrar el conjunto de redes de transporte y, como hemos visto, también la red verde.

La biodiversidad es la riqueza de formas de vida de un territorio. El medio urbano implica una artificialización, con impermeabilización de gran parte del suelo y una profunda alteración del relieve, la calidad del aire, el suelo y el agua, el clima y el régimen hidrológico. Es decir, una serie de hechos que producen la pérdida de hábitats y/o interfieren en la acomodación de las especies urbanas a las condiciones específicas de la ciudad.

Planificar la estructura de la red verde implica saber las funciones ecológicas que deben seguir generando a través del territorio urbano, en espacios más reducidos pero que cumplen otros fines, además, de las que refuerzan y añaden valor a la conservación. Optimizar las funciones de la red verde implica tener en cuenta el diseño urbano en el sentido de que las estructuras que generan los procesos ecológicos urbanos, y que los conducen,

se deben planificar, diseñar y mantener para optimizar su función ambiental del mismo modo que se procede con las redes y los equipamientos desarrollados para otros fines.

Se consideran espacios verdes, aquí, aquellos espacios de estancia con una superficie mínima de 1.000 m<sup>2</sup> y con más del 50% de área permeable (parques, jardines, espacios abiertos para uso exclusivo de peatones, plazas y parques forestales). No se consideran las superficies verdes ligadas al tráfico (isletas de tráfico), a pesar de que su dimensión sea superior a la indicada anteriormente.

Los espacios verdes son considerados por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como espacios "imprescindibles" por los beneficios que reportan en el bienestar físico y emocional de las personas, y para contribuir a mitigar el deterioro urbanístico de la ciudad, haciéndose la más habitable y saludable. El verde urbano configura un paisaje de elementos tangibles e intangibles que vertebra y equilibra el entorno.

Los espacios verdes propician la relación, la socialización y la participación. Estos espacios posibilitan la relación y el encuentro, facilitan la práctica de actividades de ocio al aire libre y permiten disfrutar de ambientes agradables y restauradores del estrés provocado por la ciudad.

Cada ciudadano debería tener acceso simultáneo a diferentes tipologías de zonas verdes de dimensiones y funcionalidades diferentes: desde espacios verdes de 1.000 m<sup>2</sup> hasta espacios mayores de 10 ha, a una distancia que se pueda recorrer a pie o en un corto recorrido en transporte público (hasta 4 km).

El plano del Eixample Cerdà analiza la proximidad simultánea y calcula la población que se encuentra en determinadas distancias para cada tipo de espacio:

- 1) Espacio verde igual o mayor que 1.000 m<sup>2</sup>, a menos de 300 m.
- 2) Espacio verde igual o mayor que 3,5 ha, a menos de 750 m.
- 3) Espacio verde igual o mayor que 10 ha, a menos de 4 km.



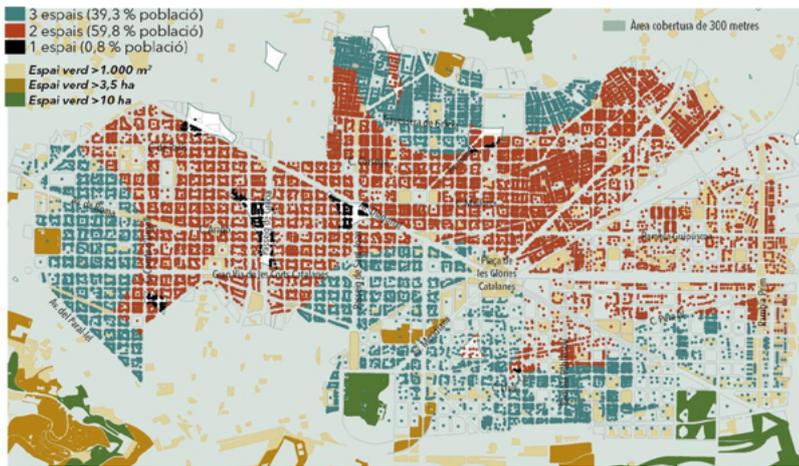


Fig. 25. Proximidad simultánea en los espacios verdes de la situación actual. Eixample 2017.  
Fuente: BCNecologia.

El análisis del plano actual de proximidad simultánea pone en evidencia los graves déficits de superficie verde del Eixample Central, la Sagrada Família y los barrios alrededor de la Av. Meridiana y de la Sagrera (Rueda, S., 2020).

A la ausencia de verde se añade, en estas áreas, un impacto por ruido y por emisiones contaminantes, además de un incremento de temperatura con un

aumento significativo de las noches tropicales que rebasan los 20°C toda la noche.

En los gráficos adjuntos se exponen los resultados del estudio para Barcelona realizado por ISGlobal, donde se muestra la captación de contaminantes por la vegetación y el impacto que tiene cada una de las variables analizadas en la morbilidad de los ciudadanos barceloneses.

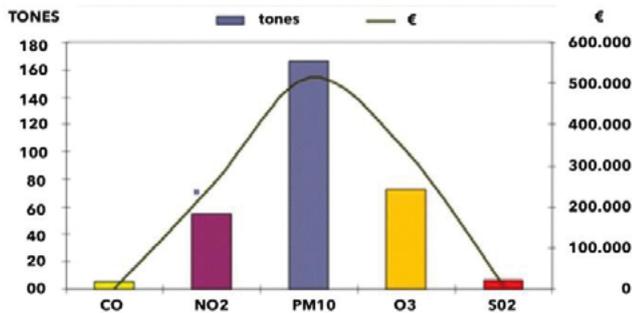


Fig. 26. Contaminantes atmosféricos eliminados por la vegetación en un año en Barcelona y valor económico asociado. Fuente: ISGlobal.

Como se ha mencionado, las supermanzanas permiten una sustitución del espacio ligado a la motorización por otro espacio relacionado con el verde. La nueva célula urbana integra todos los modos de transporte y, además, la red verde. Con las supermanzanas, la superficie verde se

incrementa significativamente llegando para el Eixample Cerdà, manteniendo la funcionalidad de la ciudad, a las 403,7 ha de verde potencial, pasando de los 2,7 m<sup>2</sup>/h, a 6,3 m<sup>2</sup>/h para todo el ámbito del Plan. Si nos fijamos en el área de Sant Martí, la ratio asciende a 7,6 m<sup>2</sup>/h.



169,4 ha (urbà)



Fig. 27. Espacio verde en la situación actual. Fuente: BCNecologia.

2,7 m<sup>2</sup>/h.

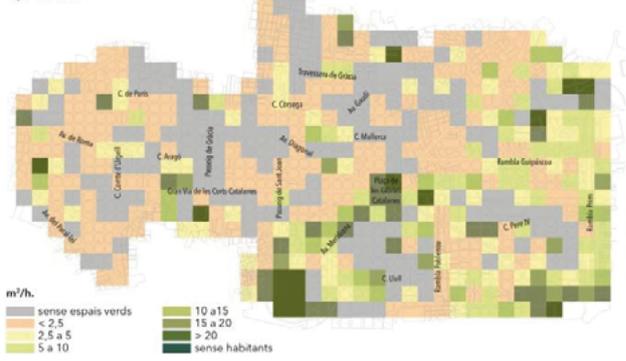


Fig. 9. Espacio verde por habitante en la situación actual. Fuente: BCNecologia.

403,7ha (urbà)



Fig. 28. Red verde potencial en el espacio público del Eixample con supermanzanas. Fuente: BCNecologia.

A la superficie verde del espacio público habría que añadir el verde de los interiores de manzana y las cubiertas verdes. Los beneficios ambientales se incrementan con un aumento de la superficie del verde urbano. Para reducir las temperaturas de

la actual isla de calor, habrá que extender, como se ha dicho, una alfombra verde que nos permita aumentar nuestra capacidad de anticipación ante las olas de calor que llegan con el cambio climático.

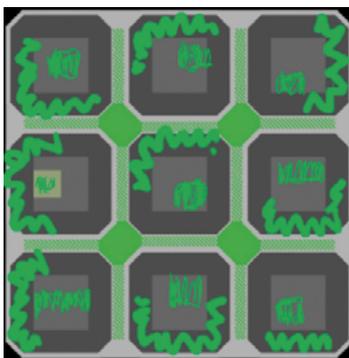


Fig. 29. Espacios verdes potenciales en una supermanzana tipo donde se incluyen: el verde del espacio público, el verde de los patios interiores de manzana y el verde de las cubiertas verdes. Fuente: BCNecologia.



Con la propuesta de supermanzanas, el verde urbano se multiplica y las ratios de verde por habitante alcanzan valores que con las

cubiertas y los patios se aproximarían a las ratios recomendadas por la OMS.

6,3 m<sup>2</sup>/h.



Fig. 30. Espacio verde por habitante en el Eixample con supermanzanas. Fuente: BCNecologia.

La plaza ha sido y es el lugar por antonomasia del espacio público. En ella cristaliza el ejercicio de derechos ciudadanos en general y/o alguno de ellos especialmente. En el caso del Eixample de Barcelona, las ordenanzas suprimieron la mayor parte de los espacios de relación, dejando, del proyecto original, únicamente las aceras de 5 m de ancho. La compresión que ha resultado de la aplicación de las ordenanzas de densificación se traduce, como se ha puesto de manifiesto anteriormente, en unas ratios de verde por habitante ridículas.

Con el proyecto de supermanzanas, la situación podría revertirse en buena medida. Cabe destacar el número y la superficie de nuevas plazas que

aparecen en los cruces de la trama Eixample, que permitirían tener, en una supermanzana tipo de 3x3 manzanas, cuatro nuevas plazas de 1.930 m<sup>2</sup> cada una.

El número de nodos que se convierten en plazas completas de 1.930 m<sup>2</sup> es de 130, lo que significa alrededor de 24,7 ha. El número de nuevas plazas con una superficie de unos 2/3 de la superficie completa es de veinte, que suman tres más. Potencialmente, pues, aparecen 150 nuevas plazas que sumarían una superficie de unas 27,7 ha. Piénsese que el Parque de la Ciutadella, el mayor parque de Barcelona, tiene poco más de 15 ha de espacio público.



Fig. 31. Transformación potencial de los cruces de la trama Eixample en plazas. Fuente: BCNecologia.



#### 5.4. La complejidad urbana y su medida

Etimológicamente, la complejidad es un tejido (complexus: aquello que está tejido en conjunto) de constituyentes heterogéneos inseparablemente asociados. Presenta la paradoja de lo uno y lo múltiple.

En un ecosistema urbano, la complejidad sería una expresión del conjunto de variables discretas con contenido significativo de información, de su abundancia respectiva, su interacción y de cómo se integran en el tiempo y en el espacio.

A primera vista, la complejidad es un fenómeno cuantitativo, una cantidad extrema de interacciones e interferencias entre un número muy grande de unidades. Pero la complejidad no abarca solo unidades e interacciones, sino también incertidumbres, indeterminaciones, fenómenos aleatorios. En cierto sentido, la complejidad siempre está relacionada con el azar (Morin, E., 1994).

La complejidad de los sistemas urbanos está ligada a una cierta mezcla de orden y desorden y puede analizarse, en parte, haciendo uso del concepto de diversidad. Los organismos vivos y, sobre todo, la especie humana y sus organizaciones, son portadores de información y atesoran, de forma dinámica en el tiempo, características que nos indican el grado de acumulación de información y también de la capacidad para influir significativamente en el presente y controlar el futuro.

En los sistemas naturales, una especie es una población que se mantiene aislada y separada por diferentes medios. La separación de especies se mantiene gracias a los diferentes mecanismos que impiden el cruce entre unas y otras, y la mezcla de genes, pero el propósito perseguido con esta multiplicidad de especies consiste en dotar al sistema de la mayor eficacia posible mediante la especialización, la división del trabajo y otras clases de circuitos de regulación y control. Un sistema con muchas especies y, por tanto, más organizado, dispone de un mayor número de circuitos concebidos para regular y estabilizar la función global del sistema.

De hecho, la diversidad que se puede encontrar en un sistema vendrá dada por el número de especies diferentes en relación con el número de individuos de cada una de ellas.

Las variables discretas en los sistemas urbanos, las que desempeñan el papel de las especies en los sistemas naturales, son esencialmente atributos que tienen los individuos o las actividades para atesorar información dinámica mediante relaciones multivariadas (de competencia, de cooperación, etc.) con otros. Este dinamismo de los individuos y las actividades es lo que diferencia a los elementos que se interconectan con los artefactos cargados de información (libros, revistas, etc.) pero que son estáticos.

Los atributos son elementos diferenciadores cargados de información que condicionan las relaciones y las trayectorias de los flujos de materia, energía e información. Crean varias redes en las que, como en los ecosistemas naturales, cada atributo proporciona especialización, división de trabajo y otros circuitos de regulación y control.

En los sistemas urbanos, la persona proporciona parte de los atributos, atesora parte de la información diferente y permite, partiendo de las diferencias, multiplicar los circuitos de regulación. Una misma persona posee diferentes atributos (titulación académica, profesión, edad, renta, etc.) que utiliza para relacionarse con otros atributos que poseen otras personas (de hecho, o jurídicas). Utilizando un símil geométrico, la persona sería un poliedro en el que cada cara sería un atributo que conectaría e intercambiaría información con otros atributos de otros poliedros.

Sin embargo, la especie humana crea organizaciones y actividades con diferentes atributos que desarrollan actividades, también especializadas, y que permiten la división del trabajo y otras clases de circuitos de regulación y control. De hecho, son los entes organizados (no los individuos) los que realmente determinan la división del trabajo y la mayor parte de los circuitos de regulación y control urbanos. La capacidad de influencia de los entes organizados sobre el devenir del sistema es manifiestamente superior al que tienen los individuos. La mayoría de los entes organizados tienen personalidad jurídica propia con unos objetivos que se imponen, en las horas de trabajo, a los objetivos de los trabajadores. En horas no laborales, las finalidades de los entes asociativos se imponen, también, a las finalidades individuales. Durante el día, los ciudadanos supeditan la mayor parte de sus intenciones y aspiraciones individuales a las finalidades de los entes organizados.



Las organizaciones urbanas consiguen sus fines a través de la competencia o la cooperación, y ello les permite mantener o incrementar su posición relativa y su permanencia en el tiempo. La posición suele traducirse en capacidad económica o de poder.

Por otra parte, los entes organizados son, en los ecosistemas urbanos, los principales acumuladores de información y, en consecuencia, los que mayor capacidad tienen para influir significativamente el presente y controlar el futuro. Los individuos juegan un papel secundario.

La medida de la complejidad urbana da idea de la información organizada en el territorio y en el tiempo. La organización en las ciudades viene de la mano de las actividades económicas (incluidas las generadas por los trabajadores autónomos), institucionales y asociativas y su diversidad. Buena parte de las organizaciones urbanas son calificadas como personas jurídicas. (3)

El índice de diversidad urbana, para un área determinada, será mayor cuanto más actividades, equipamientos, asociaciones e instituciones estén presentes y más diferenciadas sean entre ellas. Permite identificar la diversidad y mixticidad de usos y funciones urbanas, el grado de centralidad y, en algunos casos, de madurez de un territorio y de los lugares con mayor concentración de actividad y, por lo tanto, de generación, entre otros, de un mayor número de desplazamientos.

El aumento de la información organizada en un sistema urbano implica la presencia de diferentes portadores de información (actividades, asociaciones, instituciones) que establecen relaciones múltiples y variadas entre ellos. En los sistemas urbanos, la organización se traduce en contacto e intercambio, al igual que sucede en los sistemas naturales.

La complejidad de los ecosistemas naturales se obtiene calculando la biodiversidad, es decir, la diversidad de las especies vivas. El cálculo de la biodiversidad en los ecosistemas naturales se traslada a los ecosistemas urbanos con el cálculo de la diversidad de las organizaciones urbanas que juegan, en los ecosistemas urbanos, un papel similar al papel de los organismos vivos en los ecosistemas naturales.

Como las especies vivas, los entes organizados se diferencian por diferentes motivos; el principal es porque persiguen finalidades diferentes. Un sistema con muchos portadores de información (con elevada diversidad) y, por tanto, con más organización, contiene un mayor número de circuitos concebidos para regular y estabilizar la función global del propio sistema. El propósito perseguido con esta multiplicidad de entes organizados consiste en dotar al sistema urbano de la mayor eficacia posible mediante la especialización, la división del trabajo y otras clases de circuitos de regulación y control.

La complejidad medida como diversidad de actividades permite conocer el grado de multifuncionalidad de cada ámbito territorial. Para momentos temporales sucesivos, permite conocer si el grado de organización aumenta o disminuye y en qué partes de la ciudad lo hace.

La medida de la complejidad se realiza con el aparato matemático de la teoría de la información y consiste en calcular la información que tiene un mensaje a través de la medida de la diversidad de los entes urbanos organizados. Para la medida de la complejidad urbana, las organizaciones constituirán las "palabras" del mensaje, palabras que, en su conjunto, constituirán el diccionario urbano de entes organizados.

Para la medida de la diversidad de los entes urbanos organizados, se utilizará la medida de una entropía (propuesta por Shannon y Wieber), para calcular la información contenida en un mensaje:

$$H = - \sum_{i=1}^n p_i \log p_i$$

H es la diversidad y su unidad es el bit de información. Pi es la probabilidad de ocurrencia. Indica el número de miembros que cumplen una peculiaridad en el conjunto de miembros de la comunidad.

El resultado indica el número medio mínimo de bits necesarios para codificar una cadena de símbolos basado en el tamaño de la muestra y la frecuencia de los símbolos (entes urbanos organizados).



### 5.4.1. La compacidad y la complejidad urbana, creadoras de la ciudad próxima

El aumento de la diversidad de actividades urbanas (H) en la ciudad compacta reduce la entropía proyectada en el entorno. La ciudad compacta y diversa necesita un menor consumo de energía, de espacio y de tiempo para mantener su estructura organizativa.

El cálculo de la compacidad absoluta (4) permite establecer el grado de compacidad o de dispersión del modelo de ocupación del territorio. Los modelos urbanos compactos reducen el consumo de nuevo suelo urbano y se preservan los espacios del territorio esenciales para el mantenimiento de los ciclos naturales. La multifuncionalidad y la continuidad morfológica y estructural de los tejidos urbanos compactos posibilita una comunicación fluida de personas y actividades, y se reduce la necesidad de movilidad. Una mayor compacidad urbana suele ir acompañada de una mayor reducción de la demanda energética y del consumo de recursos.

El aumento de H da idea de una mayor proximidad porque concentra en el espacio unidades de características distintas. Una mayor diversidad

de usos en un territorio concreto, con una elevada densidad y mixticidad de actividades, proporciona el contexto adecuado para que aumenten los intercambios de información y los contactos físicos creadores, ambos, de la organización compleja.

El índice de diversidad urbana, para un área determinada, será mayor cuanto más actividades, equipamientos, asociaciones e instituciones estén presentes y más diferenciadas sean entre ellas. Permite identificar la diversidad y mixticidad de usos y funciones urbanas, el grado de centralidad y, en algunos casos, de madurez de un territorio y de los lugares con mayor concentración de actividad y, por lo tanto, de generación, entre otros, de un mayor número de desplazamientos.

Los tejidos compactos morfológicamente y diversos en actividades acercan distancias entre los entes urbanos organizados y permiten crear patrones de proximidad de forma que los desplazamientos se realicen mayoritariamente a pie o con transportes alternativos al coche. La proximidad permite aumentar la probabilidad de contacto, intercambio y comunicación entre los diversos agentes y elementos del sistema urbano.

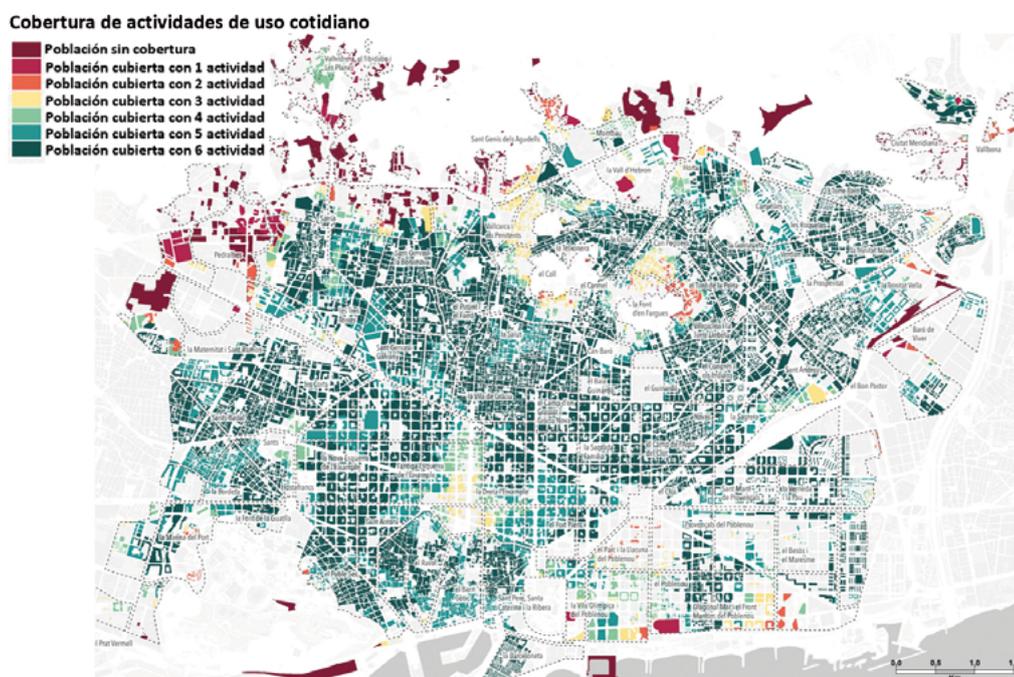


Fig. 33. Población de Barcelona cubierta simultáneamente por diversas actividades de uso cotidiano. Fuente: BCNecología.



Las actividades de proximidad son aquellas actividades económicas de uso cotidiano que el ciudadano utiliza casi a diario y que, por ello, es importante que se encuentren en un radio de acción cercano a su residencia. Se engloban dentro de esta categoría las actividades clasificadas en los sectores de la alimentación, libros y periódicos, productos químicos y farmacéuticos.

En Barcelona, el 89% de la población tiene cinco o seis actividades cotidianas (farmacias, fruterías, carnicerías, pescaderías, mixtas de pequeño formato y droguerías) a menos de 300 m de distancia de su residencia, es decir, a menos de 5 minutos a pie.

La compacidad aumenta la complejidad urbana en los tejidos urbanos y potencia la mezcla de usos y la proximidad entre ellos. Fomenta, también, patrones de proximidad residencia-trabajo mejorando la autocontención y la autosuficiencia laboral. Un modelo compacto favorece, además, la proximidad a los equipamientos.

En la figura 34 se aprecian valores similares a los señalados en la figura 33, en este caso para el acceso a los equipamientos de salud, bienestar social, deportivos, culturales y educativos, a menos de 600 metros con recorridos de menos de 8 minutos a pie.

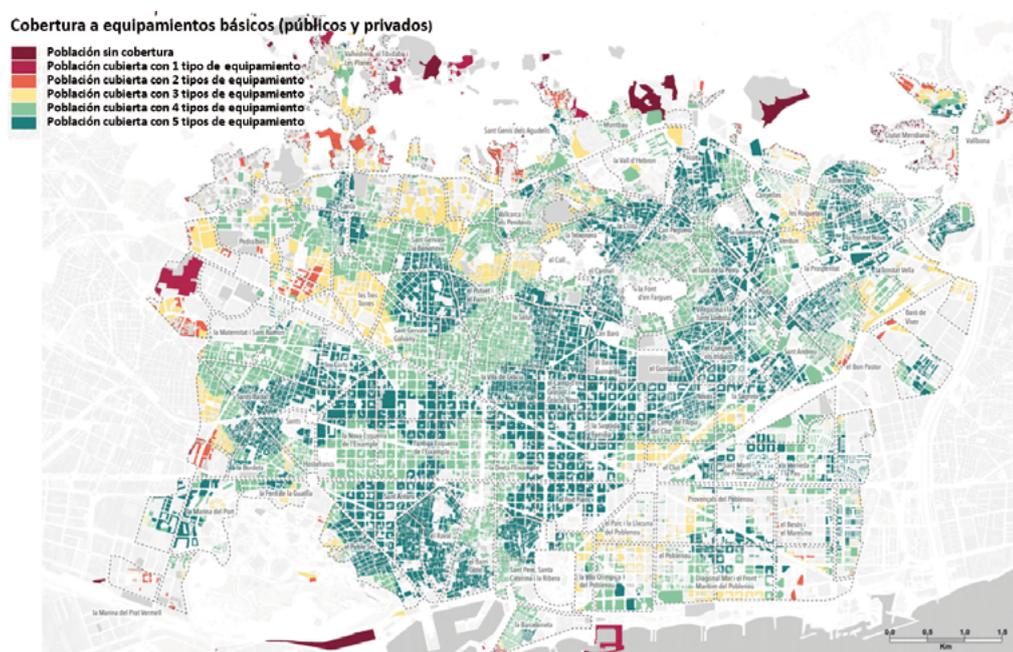


Fig. 34. Población de Barcelona cubierta simultáneamente por diversos equipamientos básicos públicos y privados. Fuente: BCNecología.



## 5.5. La eficiencia de los sistemas complejos: "maximizar la entropía en términos de información"

En los ecosistemas "naturales", la energía incidente procedente del sol es, en cada área de la Tierra, una determinada. Esa energía permite que, en el supuesto de que hablemos de un campo de cultivo (ecosistema simplificado) abandonado, este se colonice de plantas herbáceas, arbustos y árboles, y con ellos infinidad de animales y demás organismos en una sucesión del ecosistema que, con el uso de la misma energía incidente, incrementará su organización en el tiempo hasta llegar al clímax. Este proceso sigue el principio de maximizar la entropía en términos de información o, lo que es lo mismo, se produce un aumento de la complejidad (biodiversidad) sin que aumente el insumo de energía para crearla y mantenerla. La relación Energía/Biodiversidad, es decir, la energía que es necesaria para mantener la complejidad se hace cada vez menor en la sucesión de los ecosistemas, incrementándose, en el proceso temporal, el nivel de eficiencia. En la naturaleza este principio es la regla para la permanencia en el tiempo, tanto de los ecosistemas como de las especies en el proceso evolutivo.

En este sentido, la especie humana es producto del proceso evolutivo. La persona humana es el sistema organizado más complejo que conocemos con más de cien mil millones de células neuronales funcionando al unísono que nos permiten pensar, aprender, dar respuestas inteligentes además de movernos, etc. Este nivel organizativo requiere, para su funcionamiento, de la potencia energética equivalente al de una bombilla doméstica de 150W. La relación entre la energía necesaria para mantener semejante organización se acerca a cero, siendo el mejor ejemplo conocido de maximización de la entropía en términos de información.

Si trasladamos el principio a los ecosistemas urbanos, nos damos cuenta de que las reglas del juego de la actual estrategia para competir van, justo, en la dirección contraria. La relación (5) / Complejidad urbana es cada vez mayor, es decir, que el proceso busca incrementar las tasas de consumo de recursos sin que ello comporte un incremento mayor de la organización urbana. Por eso podemos afirmar, sin ninguna duda, que nos dirigimos hacia

un escenario insostenible. Saltarnos los principios de la naturaleza compromete nuestro futuro.

La actual estrategia para competir entre territorios, basada en el consumo de recursos, es la principal causa de insostenibilidad. Los sistemas urbanos que consumen más suelo, materiales y energía suelen cobrar ventaja competitiva. La generalización de la estrategia provoca una grave transformación del conjunto de sistemas del planeta, por impacto contaminante o porque son explotados por encima de su capacidad de carga. El fenómeno del cambio climático, la pérdida de biodiversidad, etc., son manifestaciones de la transformación de los sistemas, en muchos casos, de escala planetaria, generadores de las mayores incertidumbres anunciadas.

La ecuación de la sostenibilidad urbana  $E/nH$  es la expresión de la eficiencia urbana. La  $E$  como indicador del consumo de recursos nos permite evaluar el grado de sostenibilidad alcanzado. La  $nH$ , como expresión de la organización urbana, donde  $n$  es el número de personas jurídicas y su diversidad, nos permite saber el nivel de información útil (conocimiento), que se atesora en las organizaciones urbanas, en buena medida, en las personas jurídicas densas en conocimiento. La tendencia actual de producir ciudad responde a una secuencia temporal donde la tasa de consumo de energía es mucho mayor que la tasa de organización urbana que se obtiene:

**E**

**nHnHnHnH**

**t →**

El modelo actual es claramente insostenible. Como en el principio de la Reina Roja, se trata de correr cada vez más deprisa (consumo de energía, cada vez mayor) para conseguir estar en el mismo sitio (para obtener una organización urbana similar).

Obtener un modelo urbano más sostenible y, a la vez, un modelo de ciudad del conocimiento debería responder a una tasa de consumo energético cada vez menor y, a su vez también, aumentar significativamente la tasa de organización urbana  $nH$ . Con ello se maximizaría la entropía en términos de información.



$$\frac{E}{nH} \quad \frac{E}{nH} \quad \frac{E}{nH} \quad \frac{E}{nH}$$

$t \rightarrow$

En la medida que decrece E y se aumenta nH, avanzamos hacia un modelo de ciudad más sostenible en la era de la información, es decir, en la medida que se empequeñece el resultado del cociente, el camino del sistema urbano hacia la sostenibilidad crece y, a la vez, crece hacia su "inteligencia".

El urbanismo puede y debe jugar un rol substantivo en producir y/o regenerar ciudades más sostenibles y con un mayor número y diversidad de personas jurídicas, muchas de ellas, densas en conocimiento.

El futuro depende del cambio de estrategia para competir, la que puede unir, a la vez, el desarrollo y la sostenibilidad. Hoy, con la actual estrategia para competir basada en el consumo de recursos, los términos "desarrollo sostenible" son un oxímoron, son contradictorios.

Hoy, el término "desarrollo" coincide, en buena medida, con el de crecimiento económico, representado, en parte, por el crecimiento del PIB y, el PIB se alimenta del consumo de recursos. A mayor consumo de suelo, materiales y energía, mayor PIB. En el otro extremo, el término "sostenible" está relacionado con una disminución de la presión ejercida sobre los sistemas de soporte, ya sea por explotación de recursos, ya sea por impacto contaminante. La palabra "desarrollo" se vincula, hoy, a un mayor consumo de recursos materiales y la "sostenibilidad", a la reducción de dicho consumo.

Con la actual estrategia para competir basada en el consumo de recursos, es imposible hablar de "desarrollo sostenible". Para hacerlo, es necesario cambiar de estrategia, y la única que podría acercar los dos términos es una estrategia basada en la información y el conocimiento. Una estrategia que, además de reducir el consumo (E), aumente la información organizada (nH), incrementando el

número de personas jurídicas (n) y el número de personas jurídicas densas en conocimiento (n) y, a la vez, su diversidad (H). Con ello, se desarrolla un modelo de ciudad más sostenible (reducción de los recursos E) y, a la vez, un modelo de ciudad del conocimiento (incremento de n y H). Un modelo sin el otro no tiene futuro. La economía ecológica urbana se perfila como el instrumento básico para el desarrollo y articulación de ambos modelos.

En el devenir de nuestras ciudades y también de nuestro futuro como especie, maximizar la entropía en términos de información clave. La solución está ya definida por la naturaleza, y nuestro futuro depende de seguir o no seguir sus leyes.

Paralelamente, es difícil imaginar un cambio de estrategia sin un cambio en las bases de la economía. Parece del todo razonable que la economía abrazara los postulados de la economía ecológica<sup>5</sup> que propone unificar el oikos de la economía y la ecología evitando el actual divorcio entre ambas. Frente al reduccionismo monetario propio del enfoque económico habitual, el nuevo enfoque debería ser multidimensional y transdisciplinar. Presupone que la especie humana forma parte de la naturaleza y que el sistema económico, con sus derivaciones urbanas, industriales, agrícolas... es un sistema integral y, como tal, ha de estudiarse.

Si pretendemos que el desarrollo sostenible deje de ser un oxímoron, se ha de cambiar el enfoque económico, la economía se debe desmaterializar y la actual estrategia para competir debe ser compatible con las leyes de la naturaleza. La economía circular exige la introducción de cambios en todas las cadenas de valor, diseño de los productos, nuevos modelos de gestión y de mercado, nuevos modos de conversión de los residuos en un activo y nuevas formas de comportamiento de los consumidores. Se busca un modelo de ciclo cerrado.



# Conclusión



En el artículo se ha hecho un recorrido por diversos pasajes de la ecología académica y se han trasladado a los ecosistemas urbanos algunas de las soluciones que la naturaleza usa en los ecosistemas naturales. La intención del traslado no es otra que colocar a las personas y a las leyes de la naturaleza en el centro de los procesos de cambio.

Creo que a lo largo del artículo se ha podido constatar como mejoran las condiciones de vida de los ciudadanos con la aplicación de las SbN. La intención de las soluciones va dirigida, por una parte, al cuidado de las personas que habitan las ciudades y, por otra, a incrementar la capacidad de anticipación que nos asegure, como especie, un futuro con menos incertidumbres.

« La intención de las soluciones va dirigida, por una parte, al cuidado de las personas que habitan las ciudades y, por otra, a incrementar la capacidad de anticipación que nos asegure, como especie, un futuro con menos incertidumbres»



# Bibliografía

- Martín Vide, J. 2015. *La isla de calor en el Área Metropolitana de Barcelona y la adaptación al cambio climático. Proyecto METROBS 2015*. Ed. AMB.
- Martín Vide, J. 2015. *Causas y factores que influyen en la isla de calor, áreas críticas del territorio metropolitano y propuestas urbanísticas para su mitigación*. Presentació a la Taula de Metabolisme de l'AMB.
- Morató, M. 2017. *Consideracions energètiques de l'Eixample de Barcelona*. [www.bcnecologia.net](http://www.bcnecologia.net)
- Morin, E. 1994. *Introducción al pensamiento complejo*. Gedisa Editorial.
- Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Kreis, H., Cirach, M., Andrés, D., Ballester, J., Bartolí, X., Daher, C., Deluca, A., Echave, C., Palou, J., Catheres Milà, C., Márquez, S., Palou, J., Pérez, C., Tonne, C., Stevenson, M., Rueda, S., y Nieuwenhuijsen, M. Changing the urban design of cities for health: the superblock model. *Environment International*. September 2019. [10.1016/j.envint.2019.105132](https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105132). doi. Org/
- Mueller, N., Rojas-Rueda, D., Basagaña, X., Cirach, M., Cole-Hunter, T., Dadvand, P., Donaire-Gonzalez, D., Foraster, M., Gascon, M., Martinez, D., Tonne, C., Triguero-Mas, M., Valentín, A., & Nieuwenhuijsen, M. (2017). *Health impacts related to urban and transport planning: A burden of disease assessment*. *Environment Int*, 107, 243–257.
- Prigofine, I. y Stengers, I. 1984. *Order out of Uranos: Man's New Dialogue with Nature*. Nova York: Bantam.
- Rueda, S. (2020) Regenerando el Plan Cerdà. De la intervía de Cerdà a las supermanzanas del urbanismo ecosistémico. Ed. AGBAR.
- Rueda, S. et al. (2019) Changing the Urban Design of Cities for Health. The Superblock Model. *Environmental International*. Ed. Elsevier.
- Rueda, S. et al. (2019) *Superblocks as the Base of New Urban Mobility and a New Model of Public Space: Barcelona as a Case Study*. *Rassegna di Architettura e Urbanistica*, núm, 158 (mayo-agosto 2019). Ed. Sapienza, Univ. Roma.
- Rueda, S. et al. (2019) Integrating Human Health into Urban and Transport Planning. Chapter: "Superblocks for the Design of New Cities and Renovation of Existing Ones: Barcelona's Case" (páginas 135-153). Nieuwenhuijsen, Mark, Khries, Haneen (Eds.)
- Rueda, S. (2019) Les Superilles per al disseny de Noves Ciutats i la Renovació de les Existents: el cas de Barcelona. *Papers nº 59 Nous Reptes en la Mobilitat Quotidiana*.
- Rueda, S. (2019) *El Urbanismo Ecosistémico*. Ciudad y Territorio. *Estudios Territoriales (CyTET) Nº 202*.
- Rueda, S. (2018) El Urbanismo Ecosistémico: su aplicación en el diseño de un ecobarrio en Figueres. Ed. Agencia de Ecología Urbana de Barcelona.
- Rueda, S. (2018) *Carta para la planificación ecosistémica de ciudades y metrópolis*. Edición digital en [www.cartaurbanismoecosistemico.com](http://www.cartaurbanismoecosistemico.com)

# Referencias

- (1) Un sistema es un conjunto de elementos físico-químicos que entran en relación y que se distingue de otros por las restricciones que se establecen entre los elementos que se relacionan. Cuando algunos de los componentes del sistema son organismos vivos al sistema, se le denomina ecosistema. Los ecosistemas son sistemas abiertos en información, materia y energía, siguen el principio de Margalef y son escalables: una habitación, un edificio, un barrio o una ciudad son ecosistemas, pues cumplen la definición.
- (2) El espacio de estancia comienza a sumar a partir de anchos de acera de 5 metros, considerando que dos personas pueden "permanecer en este espacio sin interrumpir el paso de personas que se crucen y vayan en sillas de ruedas".
- (3) En este artículo se usarán indistintamente los términos "actividad", "persona jurídica" y "ente urbano organizado" para expresar lo mismo.
- (4) Compacidad absoluta: Relaciona el volumen edificado sobre la superficie de análisis y el resultado equivale a la altura media de la edificación sobre la totalidad del área.
- (5) La E aquí es la expresión del consumo de recursos, incluido el consumo de energía. Se escoge la energía como indicador que expresa sintéticamente el consumo de recursos.



## **Las Ciudades que Cuidan**

son ciudades amigables, compasivas, inteligentes y saludables, donde en el núcleo del modelo late con fuerza el concepto de cuidar, como el alma de la nueva urbe.

## **Una ciudad que cuida**

ha de ser referente para que sus ciudadanos puedan envejecer activa y saludablemente, integrando los valores y los procesos que permitan abordar el final de la vida en paz y dignidad, enmarcada en un entorno de innovación y conocimiento basado en la creatividad y alta tecnología, y comprometida con la promoción y protección de la salud de todos sus ciudadanos.



[www.ciudadesquecuidan.com](http://www.ciudadesquecuidan.com)